

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Шмуклер В.С., Псурсева Н.А., Прибылов Ю.И. (ХНУМГ им. А.Н.Бекетова, Инженерный центр КОСКОМ в форме ООО, г. Харьков, Украина)
Тел./Факс: +38(067)3755310; E-mail: nina_psurtseval@mail.ru

Abstract: Is established the possibility (from the positions of seismic stability) of using the armored cables of the type ОКР and ОКТВг for the laying of cable runs in the assigned region (region Evpatoriya city). Are represented the calculations of the required indices of the mechanical resistance of the fiber-optic communication cables accordingly of the conditions of their padding.

Key words: seismic action, the stress-strained state, the fiber-optic cable

В настоящее время вопросы использования волоконно-оптических кабелей (ВОК) связи в сейсмически активных зонах Украины изучены не в полной мере. Актуальность решения этих вопросов обусловлена необходимостью широкого внедрения на сетях связи ВОК различных конструкций, которые имеют высокую надежность и долговечность.

Исследования напряженно-деформированного состояния ВОК, уложенного на грунтовое основание в закрытой траншее, при сейсмическом воздействии выполнялись на основании работы «Расчеты требуемых показателей механического сопротивления волоконно-оптических кабелей связи согласно условий их прокладки», выполненных для Государственного Космического Агентства Украины.

Исходными данными для проведения расчетов являются:

- месторасположение трасс прокладки кабелей – АР Крым, Сакский район, участок между поселком Витино и г. Евпатория;
- протяженность кабельных линий, которые прокладываются в грунте и могут воспринять сейсмические воздействия – 17,0 и 5,0 километров;
- глубина закладки кабелей – 1,0 м от дневной поверхности;
- по условиям проведения полевых инженерно-геологических и топографических работ район относится в соответствии п.10 СНиП 1.02.07-87 к 2^{ой} категории сложности;
- подземных вод на участке исследований до глубины 9 метров не выявлено. По архивным данным подземные воды залегают на глубинах больше 12-15 метров и являются безнапорными;
- по сейсмическим свойствам грунты относятся к II категории;
- нормативная сейсмичность района работ составляет семь баллов в соответствии с ДБН В.1.1-12:2006 (приложение В).

Учитывая отсутствие в национальной нормативной базе указаний по проектированию и расчету ВОК, здесь считается приемлемым принятие основных положений «Федеральных норм и правил в области использования атомной энергии» Госатомнадзора России [1]. Данное допущение обосновывается совпадением классов ответственности (ССЗ) [ДБН В.1.2-14:2009] рассматриваемого объекта и атомной станции, а также полнотой содержательной информации для рассматриваемого случая, приведенной в «Нормах проектирования сейсмостойких атомных станций» [Россия, НП-031-01].

Трасса ВОК, в основном, проходит в ИГЭ-3, характеризуемым следующим:

- суглинок розово-бурый, твердый, макропористый, просадочный, с включениями в виде солей карбонатов и гипса.

Особенностью данного горизонта является его просадочность, а, как следствие, имеет место многообразие виртуальных схем замачивания. Тем не менее, отмечается небольшая мощность этого горизонта (1÷1,5 м). С учетом глубины прокладки можно сделать допущение о том, что ВОК будет покоиться на ИГЭ-7 (известняк) или на незначительном по толщине слое ИГЭ-3.

Сказанное предопределяет расчетную схему ВОК как линейно-протяженной конструкции, лежащей на сплошном основании. В этом случае, с учетом отсутствия на трассе каких-либо промежуточных опор, усилия, которые могут возникнуть в сечениях ВОК, зависят только от типа сейсмических волн. К последним относятся:

- продольные волны растяжения-сжатия (P -волны);
- поперечные волны сдвига (S -волны);
- поверхностные волны Рэлея.

Для данных типов волн, распространяемых на глубине до 2,0 метров (таблица 10 [3]) скорости составляют:

P -волна – 1047 м/сек;

S -волна – 641 м/сек;

Волна Рэлея – 641 м/сек.

Грунты основания ВОК по своим сейсмическим свойствам отнесены ко II категории. Сейсмичность площадки – 7 [3].

Так как в цитируемых отчетах отсутствуют данные о длинах волн, считается возможным определить их на основании [6] по формуле:

$$\lambda_w = V \cdot T, \quad (1)$$

где λ_w – длина волны (P ; S ; Рэлея);

V – скорость распространения волн соответствующего типа;

T – преобладающий период колебаний основания.

Учитывая отсутствие необходимых результатов геофизических исследований, допустимо согласно [7] принять

$$T = 0,5 \text{ сек.} \quad (2)$$

Тогда получим для

P -волн: $\lambda_w = 523,5$ м;

S -волн: $\lambda_w = 320,5$ м;

Волн Рэлея: $\lambda_w = 320,5$ м.

На основании принятых гипотез и допущений можно отметить, что линейно-протяженная конструкция ВОК при сейсмическом воздействии испытывает деформацию внецентренного растяжения (сжатия) [8]. При этом, продольная сила F и изгибающий момент M могут быть определены по формулам [1]:

$$F = EA \frac{v_{\max}}{\alpha V} \leq F_t, \quad (3)$$

$$M = EI \frac{a}{(\beta V)^2}, \quad (4)$$

где EA – жесткость кабеля на растяжение-сжатие (таблица 1);

EI – изгибная жесткость кабеля;

A – площадь поперечного сечения ВОК;

I – момент инерции поперечного сечения ВОК;

a – максимальное ускорение грунта при землетрясении;

α, β – коэффициенты, определяемые по табл. П.6.2 [1];

F – сила, передаваемая на конструкцию за счет трения о грунт;

v_{\max} – максимальная скорость движения частиц грунта при землетрясении;

$$v_{\max} = \frac{a}{g} v_0 \quad (5)$$

Для грунтов II категории $v_0 = 1,2$ м/сек, $g = 9,8$ м/сек² – ускорение свободного падения.

Таблица 1 - Геометрические характеристики ВОК

Диаметр (мм) D	Толщина t шланга (мм)	Площадь сечения A (см ²)	Момент инерции сечения I (см ⁴)	EA (кН)	EI (Н) (Нсм ²)
10	2,0	2,0	0,0435	40,0	87,0
19	2,0	4,3	0,4	86,0	800

По таблице П.3.1 [1] для сейсмичности 7 $a = 1$ м/сек².

Коэффициенты α и β содержатся в приводимой ниже таблице 2 [1].

Таблица 2 – Значения коэффициентов α и β

Коэффициент	Тип волны		
	Продольная	Поперечная	Рэля
α	1,0	2,0	1,0
β	1,6	1,0	1,0

$$F_t = f_t \frac{\lambda_w}{4} \quad (6)$$

где f_t – максимальная сила трения между конструкцией и грунтом на единицу длины

$$f_t = k_f \cdot q, \quad (7)$$

где $k_f = 0,7$ – коэффициент трения кабеля по грунту;

q – вес 1 м кабеля, равный приблизительно $0,11 \div 0,35$ кг/м.

Тогда

$$f_t = 0,7 \cdot 0,23 = 0,16 \text{ кг/м,}$$

где 0,23 – усредненное значение максимальной силы трения.

$$A = \pi D^2 (1 - c^2); \quad (8)$$

$$I = 0,05 D^4 (1 - c^4); \quad (9)$$

$$c = \frac{D - 2t}{D};$$

$$E = 200 \text{ МПа.}$$

$$\text{По (5)} \quad v_{\max} = 1,2 \frac{1}{9,8} = 0,122 \text{ м/сек}$$

$$\text{Для } P\text{-волн} \quad F = 40 \frac{0,122}{1 \cdot 1047} = 5 \text{ Н.}$$

$$\text{Для } S\text{-волн} \quad F = 40 \frac{0,122}{2,0 \cdot 641} = 3,8 \text{ Н.}$$

$$\text{Для волн Рэлея} \quad F = 40 \frac{0,122}{1,0 \cdot 641} = 7,6 \text{ Н.}$$

$$\text{Для } P\text{-волн} \quad M = 87 \frac{1}{(1,6 \cdot 1047)^2} \approx 0,0$$

$$\text{Для } S\text{-волн} \quad M = 87 \frac{1}{(1 \cdot 641)^2} \approx 0,0$$

$$\text{Для волн Рэлея} \quad M = 87 \frac{1}{(1 \cdot 641)^2} \approx 0,0$$

$$\text{Для } P\text{-волн} \quad F_t = \frac{523,5}{4} \cdot 1,6 = 209,4 \text{ Н}$$

$$\text{Для } S\text{-волн и волн Рэлея} \quad F_t = \frac{320,5}{4} \cdot 1,6 = 128,2 \text{ Н.}$$

Таким образом, для всех случаев неравенство $F < F_t$ выполняется.

Учитывая незначительную величину мембранного усилия, считается, что ограничение

$$\varepsilon \leq \varepsilon_u, \quad (10)$$

где ε – деформация удлинения;

ε_u – предельная деформативность ВОК (защитного шланга) выполняется.

В связи с чем, может быть принят бронированный кабель типа ОКП 12А4(3×4)-7 или кабель типа ОКТБг.

Выводы:

1. Продольные усилия в кабеле, соответствующие волнам различного типа, не превышают предельную продольную силу, возникающую в кабеле в момент землетрясения за счет сил трения.

2. Вес грунта засыпки существенно меньше раздавливающего усилия, соответствующего кабелям типа ОКП 12А4(3×4)-7 или ОКТБг.

3. Как вариант (рекомендуемый) для полного исключения аномальных особенностей деформирования (просадка, температурные напряжения, неучтенные усилия и т.д.) считается целесообразной прокладка трассы ВОК в лотках.

Список литературы: 1. НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – Госатомнадзор России. – 2002 г. 2. ДБН В.1.1-12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины». 3. Звіт про виконання робіт: «Виконання інженерно-геологічного обстеження території розміщення наземного комплексу управління національної супутникової системи зв'язку НЦУВКЗ». – Сімферополь, 2013 р. 4. Результаты инженерно-геологических изысканий института «КРЫМГИИТИЗ». – 2013 г. 5. ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ». 6. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – Санкт-Петербург: Наука, 1998 – 255 с. 7. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты/Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 8. Городецкий А.С., Шмуклер В.С., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. - 889 с.